

## Beschreibung

## Bandbreitenreservierung in Datennetzwerken

Technisches Gebiet

- 5 Die Erfindung betrifft die Bandbreitenreservierung in Datennetzwerken, insbesondere für die Übertragung von Multimedia-Daten in Computernetzwerken wie dem Internet.

Stand der Technik

- Das Internet macht weitgehend Gebrauch von dem verbindungsorientierten Protokoll TCP/IP, das wiederum das darunterliegende Internet-Protokoll, abgekürzt IP, verwendet. IP seinerseits ist ein Datagramm-Protokoll, das auf Grund seiner Datagramm-Eigenschaft sehr leicht administriert und skaliert werden kann und damit zum Erfolg des Internet maßgeblich beigetragen hat. Ein Datagramm-Protokoll wie insbesondere IP hat jedoch den Nachteil, daß eine Zusage für eine Übertragung weder überhaupt noch in einer bestimmten Datenmenge in einer bestimmten Zeit nicht gegeben ist. Dies wird als 'best effort' bezeichnet, nach dem jeder Netzknoten bestmöglich versucht, die Datenpakete weiterzuleiten, womit auf eine garantierte Zuverlässigkeit verzichtet wird. Wo diese benötigt wird, stellt daher ein Protokoll der darüberliegenden Schicht, wie TCP/IP, über Wiederholungen, Zustandsnachrichten und Zeitabläufe eine zuverlässige Verbindung bereit. Für die Majorität der bisherigen Anwendungen ist diese Verbesserung ausreichend. Eine solche Zusicherung wird als Servicequalität, engl. 'quality of service', bezeichnet. TCP/IP liefert demgemäß die Servicequalität, daß die Nachrichten tatsächlich und in der Reihenfolge des Absendens eintreffen, solange die darunterliegende Schicht überhaupt funktioniert, d.h. die Verbindung nicht als defekt signalisiert wird.

Für die Übertragung von Telefonie und insbesondere Bewegtbildern wird jedoch eine weitere Qualität der Übertragung benö-

tigt. Diese besteht insbesondere darin, daß die Daten innerhalb einer bestimmten Zeit übertragen werden. In Kenntnis dieser maximalen Verzögerungszeit kann der Empfänger einen ausreichenden Puffer aufbauen und so eine ruckfreie Darstellung von Bewegtbildern sicherstellen.

Diese Verbesserung der Übertragungszusagen in Netzwerken werden unter dem Stichwort 'Quality of Service' diskutiert. Als Überblick, der das allgemeine Wissen des Fachmanns auf diesem Gebiet zusammenfaßt, sei das Buch von P. Ferguson und G. Huston, "Quality of Service", Wiley & Sons 1998 (ISBN 0-471-24358-2) genannt.

Für die Reservierung derartiger Verbindungen im Internet ist das Protokoll RSVP vorgesehen, welches in dem Dokument "Resource Reservation Protocol (RSVP)" von R. Braden et.al., RFC 2205, September 1997, beschrieben ist. RSVP ist lediglich für den Aufbau der Reservierung zuständig. Für die Spezifikation der Betriebsmittel selbst, hier der Servicequalität, sind mit RSVP vom Prinzip her mehrere Protokolle einsetzbar, beispielsweise das im Dokument "Specification of Guaranteed Quality of Service" von S. Shenker et.al., RFC 2212, September 1997, beschriebene Protokoll. Dieses beschreibt die zu reservierenden Betriebsmittel durch Parameter des 'token bucket' Modells.

Untersuchungen hierzu sind auch in dem Artikel "Efficient Support of Delay and Rate Guarantees in an Internet" von L. Georgiadis et.al, SIGCOMM 1996, p.106-116, veröffentlicht. Das darin verwendete 'token bucket' Modell wurde als ein weitgehend unspezifisches Modell gewählt, das auch die sinnvolle Spezifikation von Daten mit nicht gleichmäßiger Datenrate erlauben soll. Daten mit ungleichmäßiger Datenrate sind insbesondere nach MPEG2 komprimierte Videodaten, bei denen neben vollen Schlüsselbildern auch wesentlich kleinere Änderungsbilder übertragen werden. Mangels anderer Regeln muß für

solche Datenströme die Reservierung an den großen Schlüsselbildern ausgerichtet werden.

- 5 Es ist Aufgabe der Erfindung, die Parameter für die Reservierung eines Transports von insbesondere Multimedia-Daten besser als bislang bestimmbar zu machen und anzugeben, wie die zugehörigen Parameter zweckmäßig ausgetauscht werden.

- 10 Die Lösung verwendet zur Beschreibung der Multimedia-Daten eine sich wiederholende Sequenz von Bildgrößen und ihren Zeitabständen. Aus dieser kann mit Hilfe einer einfachen Analyse bzw. Simulation die optimalen Parameter für die Reservierung mit RFC 2212 bestimmt werden.

- 15 Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung, welche in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen die Erfindung an Hand eines Ausführungsbeispiels erläutert.

#### Beschreibung einer Ausführungsform der Erfindung

- 20 Die Erfindung wird im folgenden an Hand eines Beispiels zur Übertragung von Videodaten über digitale Verbindungen zwischen Computern beschrieben.

- 25 Videodaten bestehen in der Regel aus einer Folge von Bildern, die in gleichmäßigen Abständen anfallen, übertragen und zur Wiedergabe bereitgestellt werden müssen. In digitalen Systemen werden die Bilder vorzugsweise beim Sender um beispielsweise den Faktor 10 komprimiert. Das in den hierzu einschlägigen MPEG-Standards verwendete Verfahren entspricht dem für  
30 Einzelbilder bekannten JPEG-Verfahren. Werden lediglich die Einzelbilder mit JPEG komprimiert, wird das auch als M-JPEG bezeichnet.

- 35 Der Empfänger dekomprimiert die Daten und stellt sie auf einem Bildschirm dar. Dabei ist es unabdingbar, daß die de-

FOUO 14701

komprimierten Einzelbilder wieder in gleichmäßigen Abständen zur Anzeige bereitstehen, damit kein "Ruckeln" von Bewegungsbildern entsteht. Daher wird in der Regel ein Puffer vorgesehen, in dem meist mehrere Bilder abrufbereit gespeichert sind. Der  
5 Puffer kann funktional Teil der Datenübertragungseinrichtung sein oder von dem Anzeigeprogramm bereitgestellt werden.

Für die Bestimmung der Puffergröße ist es notwendig, die Differenz zwischen der kleinsten und der größten Verzögerung  
10 zwischen Abliefern eines Bildes durch den Sender und Bereitstellung im Empfänger zu kennen. Im folgenden wird zur Vereinfachung angenommen, daß die kleinste Verzögerung Null ist, da die absolute Verzögerung für die hier interessierenden Fragen ohne Belang ist.

15 Sofern die Daten mit einem IP-Protokoll wie UDP übertragen werden sollen, liegt das Problem darin, daß diese normalerweise keine Spezifikationen über Laufzeiten enthalten. Man nennt dieses Betriebsverfahren 'best effort'.

20 Eine der einfachsten Maßnahmen besteht darin, eine vorgegebene Bandbreite zu garantieren, wie dies beispielsweise bei einem ISDN B-Kanal der Fall ist. Diese Methode ist für herkömmlichen Videodaten, bei denen jedes Bild (engl. 'frame') einzeln komprimiert und im festen Zeitraster übertragen wird,  
25 angemessen; die benötigte Bandbreite ist einfach die maximale komprimierte Bildgröße, dividiert durch den Abstand der Bilder. Für typische Fernsehsignale ist eine komprimierte Bildgröße von 40 kByte und ein Abstand von 20 msec gegeben, was  
30 einer Bandbreite von 2 MByte/sec entspricht. Videokonferenzen, die beispielsweise zwei gebündelte ISDN-Kanäle verwenden, reduzieren die Bildgröße und die Bildwiederholrate, um mit 128 kBit/sec auszukommen. Diese Bandbreite wird dann aber auch kontinuierlich benutzt, so daß die Verzögerung auf der  
35 Strecke wenig schwankt und gut vorhersagbar ist. Es sei darauf hingewiesen, daß bei schwankenden Verzögerungen der Empfänger einen großen Puffer benötigt und erst nach dem Auffül-

"best effort" 22556660

len des Puffers mit der Wiedergabe beginnen kann, so daß eine bei Videokonferenzen sehr auffallende Verzögerung entsteht. Mit der Einführung der Videodaten-Kompression nach dem MPEG Standard jedoch werden neben vollständigen (komprimierten) Bildern auch solche übertragen, die nur die Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Bildern codieren und demgemäß wesentlich kleiner sind. Eine typische Abfolge besteht beispielsweise aus acht 'frames' im Abstand von 20 msec mit den Größen 40kByte, dreimal 10 kByte, einmal 20 kByte, und dreimal 10 kByte. Die mittlere Bandbreite beträgt nur noch 120 kByte pro 160 msec, also nur noch 750 kByte/sec. Obwohl die mittlere benötigte Bandbreite geringer ist, muß für die Übertragung die von dem größten Bild bestimmte maximale Bandbreite von 2 MByte/sec reserviert werden.

Für ATM-Netzwerke ('asynchronous transfer mode') wurde daher in dem Artikel "Analysing Multimedia Traffic in Real-Time ATM Networks" von M. Sjödin und H. Hansson, Proc. 5th Real-Time Tech. and Appl. Symposium, RTAS'99, eine in den Knoten eines ATM-Netzwerks anzuwendende Methode vorgeschlagen, mit der bei gegebener Charakteristik des Multimedia-Datenstroms der Bandbreitenbedarf reduziert werden kann. Diese Methode ist jedoch auf ATM-Netzwerke bezogen, bei denen virtuelle Verbindungen geschaffen werden und die Daten durch das Netzwerk in sehr kleine, Zellen genannte Einheiten von 48 Bytes fragmentiert werden.

Für die Übertragung von Videodaten mit IP-Protokollen wurden, wie oben bereits erwähnt, Ergänzungen spezifiziert. Diese umfassen ein Protokoll, mit dem ein Datenübertragungsweg in dem Netzwerk derart festgeschrieben werden kann, daß eine garantierte, d.h. vorbestimmte und spezifizierte, Ablieferung von übertragenen Daten gesichert ist. Dies ist das 'Resource Reservation Protokoll', kurz RSVP, das in dem oben bereits genannten Dokument RFC 2205 (Braden et.al., 1997) beschrieben ist. Mit RSVP sendet der Sender eines Datenstroms eine Nachricht über das Netzwerk an den (oder die) Empfänger. Diese

- Nachricht enthält eine Spezifikation der benötigten Dienstqualität und bestimmt gleichzeitig einen Pfad durch das Netzwerk vom Sender zum Empfänger. Der Empfänger antwortet mit ergänzten oder modifizierten Parametern und erhält, wenn diese
- 5 Nachricht wie vorgesehen beim Sender ankommt, einen reservierten Weg mit garantierten Übertragungseigenschaften. Für die Beschreibung der Dienstqualität, engl. 'Quality of Service', kurz QoS, sind in RSVP verschiedene Spezifikationen möglich; beispielsweise die nach RFC 2212 (Shenker et.al., Specification of Guaranteed Quality of Service, 1997).
- 10

- Bei der Verwendung von RFC 2212 zur Beschreibung der Dienstqualität wird ein quasi-kontinuierliches Modell eingesetzt, das als 'token bucket model' bezeichnet wird. Hierbei ist ein
- 15 Puffer vorhanden, der mindestens mit der reservierten Bandbreite entleert wird. Gefüllt werden kann der Puffer mit einer höheren Datenrate, wobei selbstverständlich die mittlere Datenrate nicht über der für die Entleerung spezifizierten Datenrate, d.h. der reservierten Bandbreite, liegen kann. Die
- 20 Beschreibung der Dienstqualität nach dem 'token bucket model' hat den Vorteil, dass sie unabhängig von der Implementation der Vermittlungsknoten ist.

- Im RFC 2212 werden fünf von dem die Verbindung aufbauenden
- 25 Empfänger anzugebende Parameter genannt. Es sind dies:

- r: die mittlere Bandbreite ('token bucket rate')
- R: die reservierte Bandbreite ('reserved bandwidth')
- b: die Puffergröße ('token bucket depth')
- 30 p: die maximale Bandbreite ('peak rate')
- M: die maximale Paketgröße ('maximum packet size')
- Damit wird dann eine maximale Verzögerung

$$d = \frac{b - M}{R} \cdot \frac{p - R}{p - r} + \frac{M}{R}$$

- 35 garantiert.

"112701" 2265660

Für das oben genannte Beispiel ergibt sich als mittlere Bandbreite  $r = 750$  kByte/sec und als Spitzenbandbreite  $p = 2000$  kByte/sec. Die reservierte Bandbreite  $R$  muß auf jeden Fall größer oder gleich der mittleren Bandbreite sein; so sei beispielsweise eine Bandbreite  $R = 1000$  kByte/sec zu reservieren. Der Faktor  $\frac{p-R}{p-r}$  ergibt sich damit zu 0.8.

Bleiben noch zwei Größen, nämlich  $b$  und  $M$ , festzulegen. Für  $M$  ist offenbar 40 kByte zu wählen, da dies der größte Frame ist. Als Puffer wird Platz für alle acht 'frames' vorgesehen, also  $b = 120$  kByte. Dann ergibt sich

$$b = \frac{120k - 40k}{1000k} \cdot 0.8 + \frac{40k}{1000k} = (64 + 40)msec = 104msec$$

Der Empfänger muß also bei dieser Wahl dieser Parameter einen Puffer für sechs 'frames' vorhalten.

Im übrigen ist die mittlere Bandbreite gleichzeitig die minimale Bandbreite oder Mindestbandbreite, da eine Akkumulation von noch nicht übertragenen Daten nicht möglich ist.

Es ist jedoch möglich, die Parameter wesentlich enger zu bestimmen und so sowohl die Verzögerung zu reduzieren als auch eine bessere Ausnutzung des Netzwerks zu erreichen.

Dabei wird der oben als Beispiel benutzte Datenstrom als ein Tupel (40k, 10k, 10k, 10k, 20k, 10k, 10k, 10k) zusammen mit dem Frameabstand von 20ms dargestellt. Dieses Tupel beschreibt eine Sequenz von Datenblöcken, die repetitiv ist, d.h. zyklisch wiederholt wird. Die maximale Datenrate ergibt sich unverändert als Quotient der Größe des größten Blocks durch den Frameabstand. Die Mindestbandbreite ist gleichfalls unverändert die Summe der Blockgrößen durch die Gesamtdauer der Sequenz.

Für die Bestimmung der Puffergröße wird nunmehr berücksichtigt, daß die Daten mindestens mit der reservierten Bandbreite

090592 143 200022143

te R weitergeleitet werden und für die weitergeleiteten Daten kein Puffer benötigt wird. Eine Simulation bestimmt daher die jeweils benötigte Puffergröße folgendermaßen:

- 5 Zunächst werden die Sequenzangaben in eine Folge akkumuliert, in der die übertragenen Datenmengen der jeweils vergangenen Zeit zugeordnet werden.

Diese Tabelle sieht dann für das Beispiel so aus:

10	00ms	40k
	20ms	50k
	40ms	60k
	60ms	70k
	80ms	90k
15	100ms	100k
	120ms	110k
	140ms	120k

- 20 Jede Zeile entsteht aus der vorherigen durch Addition des jeweiligen, hier im Beispiel konstanten, Zeitdifferenz und der jeweiligen Blockgröße, wobei die Größe des ersten Blocks bereits in der ersten Zeile beim Zeitpunkt 0 erscheint.
- 25 Nunmehr wird eine weitere Spalte hinzugefügt, in der die für die zu reservierende Bandbreite R bereits übertragene Datenmenge bestimmt wird, und diese in der vierten Spalte von der eingetroffenen Datenmenge subtrahiert wird:

09055927 "112701



9

	00ms	40k	0	40k
	20ms	50k	20k	30k
	40ms	60k	40k	20k
	60ms	70k	60k	10k
5	80ms	90k	80k	10k
	100ms	100k	100k	0
	120ms	110k	120k	0
	40ms	120k	140k	0

- 10 Es ergibt sich für dieses Beispiel, daß ein Puffer für den ersten größten Block ausreichend ist, also  $b = 40 \text{ kByte}$ . Dann ergibt sich

$$b = \frac{40000 - 40000}{1000} \cdot 0.8 + \frac{40000}{1000} = 0 + 40 = 40 \text{ msec}$$

15

also eine wesentlich kleinere zugesagte Verzögerung.

- 20 In den meisten Fällen ist jedoch eine Blockgröße von 40kByte nicht zulässig. Die hier relevante Angabe ist die 'maximum transmission unit', MTU. Diese beträgt in lokalen Netze wie Ethernet meist ca. 1kByte. Um die nachfolgenden Beispiele übersichtlicher zu machen, soll statt dessen eine Blockgröße von 8kByte verwendet werden.

- 25 Die Aufteilung des ersten Blocks von 40kByte in 5 Blöcke à 8kByte erfolgt zweckmäßig im Sender. Damit ergibt sich dann ein entsprechend geringerer Zeitabstand von 4msec pro Block. Die obige Tabelle ergibt sich dann wie folgt:

	00ms	8k	0	8k
30	04ms	16k	4k	12k
	08ms	24k	8k	16k
	12ms	32k	12k	20k
	16ms	40k	16k	24k
	20ms	48k	20k	24k

1022143 200022143

10

	24ms	50k	24k	<b>26k</b>
	28ms	50k	28k	22k
	32ms	50k	32k	18k
	36ms	50k	36k	14k
5	40ms	58k	40k	18k
	44ms	60k	44k	16k
	48ms	60k	48k	12k

Die weiteren Zeilen wurden der Übersichtlichkeit halber we-  
 10 gelassen. Es ergibt sich, daß ein Puffer von 26kByte ausrei-  
 chend ist.

Damit werden  $b=26k$  und  $M=8k$ , es reduziert sich die zugesagte  
 maximale Verzögerung auf

15

$$b = \frac{26k - 8k}{1000k} \cdot 0.8 + \frac{8k}{1000k} = (18 \cdot 0.8 + 8) \text{ msec} = 23 \text{ msec}$$

d.h. in der Größenordnung eines zusätzlichen Frames.

Voraussetzung ist dabei, daß der Sender oder die Netzwerk-  
 20 Software im Sender die Pakete auch in dem vorgesehenen Ab-  
 stand von 4ms abschickt.

Soll diese enge Bedingung entschärft und der Abstand auf 2  
 msec reduziert, aber die Blockgröße von 8kByte beibehalten  
 25 werden, ergibt sich folgende Simulation:

	00ms	8k	0	8k
	02ms	16k	2k	14k
	04ms	24k	4k	20k
	06ms	32k	6k	26k
30	08ms	40k	8k	<b>32k</b>
	10ms	40k	10k	30k
	12ms	40k	12k	28k
	14ms	40k	14k	26k
	16ms	40k	16k	24k

18ms	40k	18k	22k
20ms	48k	20k	28k
22ms	50k	22k	28k
24ms	50k	24k	26k

5

...

Die Puffergröße wird von der Simulation auf 32kByte bestimmt. Die maximale Bandbreite ist auf  $p=4000$  kByte/sec verdoppelt, der Faktor  $\frac{p-R}{p-r}$  wird 0.93. Für die Verzögerung bei  $b=32k$  ergibt sich dann

10

$$b = \frac{32k - 8k}{1000k} \cdot 0.93 + \frac{8k}{1000k} = (18 \cdot 0.93 + 8) \text{ msec} \approx 24 \text{ msec}$$

Ersichtlich kann durch die Simulation für eine große Anzahl von Varianten die passende Puffergröße ermittelt werden.

15

Es ist zulässig, eine "unendlich" große Höchstbandbreite anzugeben; damit ergibt sich der Faktor  $\frac{p-R}{p-r} \approx 1$  und

$$d = \frac{b}{R}$$

Die zugesagte maximale Verzögerung hängt nur noch von der Puffergröße ab und wird umso kleiner, je kleiner letzter ist. Sie kann durch die Simulation leicht bestimmt werden.

20

25

30

Nach dem RSVP-Protokoll bestimmt der Empfänger die zu reservierende Bandbreite durch Angabe der zu reservierenden Bandbreite und der Puffergröße. Daher werden bevorzugt die Quellparameter vom Sender zum Empfänger übertragen und dort die Simulation durchgeführt. In RSVP ist die Übertragung von derartigen Zusatzdaten vorgesehen. Es kann aber auch der Sender bereits eine solche Simulation für eine Auswahl von zu reservierenden Bandbreiten durchführen und dann dem Empfänger eine Auswahl von Bandbreite und Puffergröße, bezogen auf eine Blockgröße und Mindestabstand der Blöcke, übermitteln. Dies ist entweder im Rahmen von RSVP durch weitere Daten oder über eine weitere Netzwerkverbindung möglich.

 09053527 113704  
 1022143 2205060

Weiterhin ist es möglich, daß die Netzwerkknoten auf die mittels RSVP übertragenen Quellparameter zugreifen und sodann über eine Simulation den Pufferbedarf selbst ermitteln. Dies ist insbesondere dann interessant, wenn in den Netzwerkknoten eine Formierung (engl. 'reshaping') der Datenströme stattfindet. Beispielsweise wird ein anderes Übertragungsmedium zwischen den Netzwerkknoten als vom Sender bzw. zum Empfänger verwendet. Dann kann bei dem Aufbau der Verbindung der Netzwerkknoten über eine Simulation den benötigten Puffer bestimmen.

200022143

## Patentansprüche

1. Methode zur Reservierung von Betriebsmitteln für die Übertragung von Quelldaten schwankender Datenrate in einem Daten-  
5 netzwerk, in dem eine vorab bestimmbare Übertragungsqualität reservierbar ist, mit den Merkmalen:
- Für den Quelldatenstrom werden Quellparameter in Form einer repetitiven Sequenz von maximalen Datenmengen und zugehörigen Zeiten bestimmt,
  - 10 - daraus wird eine Mindestbandbreite durch Division der Gesamtdatenmenge durch die Gesamtzeit pro Sequenz bestimmt,
  - für eine reservierte Bandbreite, die nicht kleiner als die Mindestbandbreite ist, wird mittels einer Simulation eine Puffergröße und optional eine Höchstbandbreite bestimmt,
  - 15 - die Reservierung der Betriebsmittel erfolgt mittels der so bestimmten Stromparameter Mindestbandbreite, Höchstbandbreite, Puffergröße und reservierter Bandbreite.
2. Methode nach Anspruch 1, wobei Quellparameter, die als ei-  
20 ne erste Sequenz von Blockgrößen und zugehörigen Zeitabständen vorliegen, in eine zweite Sequenz von übertragenen Datenmengen und jeweils vergangener Zeit umgewandelt werden, und umgekehrt.
3. Methode nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Simulation bei  
25 einer Folge von übertragenen Datenmengen und zugehörigen Zeiten seit Beginn der Sequenz von den Datenmengen das jeweilige Produkt von Zeitpunkt und reservierter Bandbreite subtrahiert und das Maximum als Puffergröße ausgibt.
- 30 4. Methode nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Simulation die Quotienten aus Blockgröße und zugehörigen Zeitabständen bildet und das Maximum als Höchstbandbreite ausgibt.
- 35 5. Methode nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Bestimmung der Stromparameter aus den Quellparametern beim Sender erfolgt.



## Zusammenfassung

## Bandbreitenreservierung in Datennetzwerken

- 5 Methode zur Reservierung von Betriebsmitteln für die Übertragung von Quelldaten schwankender Datenrate in einem Datennetzwerk, in dem eine vorab bestimmbare Übertragungsqualität reservierbar ist, mit den Merkmalen:
- Für den Quelldatenstrom werden Quellparameter in Form einer repetitiven Sequenz von maximalen Datenmengen und zugehörigen
  - 10 Zeiten bestimmt,
  - daraus wird eine Mindestbandbreite durch Division der Gesamtdatenmenge durch die Gesamtzeit pro Sequenz bestimmt,
  - für eine reservierte Bandbreite, die nicht kleiner als die
  - 15 Mindestbandbreite ist, wird mittels einer Simulation eine Puffergröße und optional eine Höchstbandbreite bestimmt,
  - die Reservierung der Betriebsmittel erfolgt mittels der so bestimmten Stromparameter Mindestbandbreite, Höchstbandbreite, Puffergröße und reservierter Bandbreite.

20

0995927.112701